

行政院原子能委員會核能研究所

委託研究計畫

工作報告

沼液沼渣回收再利用方法評估

Evaluation of recycling methods of biogas residue and slurry

計畫編號：109B003

受委託機關(構)：財團法人食品工業發展研究所

計畫主持人：郭楊正

聯絡電話：03-5223191#523

E-mail address：yck24@firdi.org.tw

核研所聯絡人員：王蔚

報告日期：109年12月01日

目 錄

目錄.....	I
中文摘要.....	1
英文摘要.....	2
壹、計畫緣起與目的	3
貳、研究方法與過程	4
一、 沼液沼渣去化方法評估.....	4
二、 沼液沼渣特性分析.....	4
三、 沼液沼渣田間施用量評估.....	5
參、主要發現與結論	6
一、 沼液沼渣去化方法評估.....	6
(一) 沼液之廢水處理	7
(二) 沼液沼渣資源化利用	8
(三) 沼渣(污泥)之處理方式.....	23
(四) 木質纖維解聚物於畜牧廢水共消化之應用	28
二、 沼液沼渣特性分析.....	30
(一) 肥力分析	31
(二) 重金屬含量分析	32

(三) 有害菌分析	33
三、 沼液沼渣田間施用量評估.....	38
(一)肥分效益評估	38
(二)重金屬累積風險評估	44
四、 結論	46
肆、參考文獻	47
伍、附件.....	49

沼液沼渣回收再利用方法評估

中文摘要

為提升厭氧消化之沼氣生產效率，利用木質纖維解聚物來增加碳源，已證實可增加沼氣的總產量，然而其所產生的沼液沼渣之特性仍須進一步分析，方能評估其去化方法。本計畫針對國內外畜牧廢水之處理方式進行探討，並針對木質纖維解聚物及畜牧廢水共消化所產生之沼液沼渣進行肥分、重金屬及有害菌的分析，以作為評估資源化利用可行性的依據。根據分析結果，我們估算沼液入田時的建議使用量；根據重金屬分析結果，需要定期監測土壤中鋅的累積量；樣品中未檢測出大腸桿菌，但有少量沙門氏桿菌，因此建議不要使用在生食蔬菜上。

Evaluation of recycling methods of biogas residue and slurry

Abstract

Using de-aggregation lignocellulose to increase the carbon source has been proven to improve the total production of biogas in the anaerobic digestion process. However, the the characteristics of the biogas slurry and residue still need to be analyzed in order to evaluate the decontamination method. In this project, we analyzed the biogas slurry and residue produced by co-digestion of de-aggregation lignocellulose and livestock wastewater, including of fertilizer composition, heavy metals and harmful bacteria, then refer to this as the basis for evaluating the feasibility of resource utilization. Based on the results of the analysis, we calculated the recommended amount of biogas slurry to farmland. The accumulation of zinc in the soil should be monitored regularly. *E. coli* was not detected in the sample, but *Salmonella* was detected, so it is recommended not to use it for lettuce planting.

壹、計畫緣起與目的

由於畜牧業現代化科技的發展，生產規模逐漸增加，並朝向企業化發展，但隨之產生大量的畜牧廢棄物，造成了嚴重的汙染問題，加上城市發展及環保意識抬頭，對居住環境品質要求日高，使畜牧業遭受龐大的經營壓力。國內畜牧廢棄物以牛及豬為最大宗，根據環保署法規，飼養 20~200 頭豬的畜牧場必須提出廢水管理計畫，飼養 200 頭豬以上的畜牧業，要依法規定申請取得水污染防治措施計畫，如果是要排放，就要符合放流水標準；如果是要採用資源化利用，畜牧糞尿經厭氧發酵 10 日以上，收集沼氣，沼液沼渣作為農地肥分使用。沼氣部分可作為燃料供牧場蒸煮飼料或保溫使用，其中比較具有規模的畜牧場，沼氣更可評估進行發電，供牧場自用或售電。

為了提升沼氣生產效率，可添加農林廢棄物如稻稈、蔗渣或木片的纖維原料進行共消化，目的在於增加碳源來增加甲烷的產量。但是纖維原料因結構較緊密，難被微生物直接利用，必須透過粉碎及水解等步驟，將纖維結構破壞，提高微生物的利用效率。畜牧場廢水添加農林廢棄物進行共消化之後，產生的沼渣沼液性質可能因此改變，在選擇處理後排放或是資源化利用上需要再進行評估，因此本計畫主要目的在於評估此類型厭氧共消化產生之沼液沼渣的去化方法，透過收集國內外相關文獻及國內法規，以及分析共消化沼渣沼液的特性，包

含肥力及重要元素分析、重金屬含量及有害菌分析等，作為評估資源化利用可行性的依據。

貳、研究方法與過程

一、沼液沼渣去化方法評估

(一)文獻及案例搜尋

搜尋國內外沼渣沼液去化方法的文獻報導，包含國內目前對於資源化應用的推動情形，以及各國的處理方式，作為評估本案沼渣沼液去化的參考。

(二)國內相關法規搜尋

收集國內環保、農業及其他相關部會的法規，作為評估本案沼渣沼液去化的參考。

二、沼液沼渣特性分析

(一)肥力及重要元素分析

鈉依照檢測方法 AFS1302-1 進行分析；氯鈉依照檢測方法 AFS1303-1 進行分析；全氮鈉依照檢測方法 AFS1303-1 進行分析；全磷鈉依照檢測方法 AFS2120-1 進行分析；全氧化鉀依照檢測方法 AFS2130-1 進行分析；有機質依照檢測方法 AFS2101-1 進行分析；pH 值依照檢測方法 AFS2904-1 進行分

析；電導度值依照檢測方法 AFS2905-1 進行分析。

(二)重金屬含量分析

鎘、鉻、銅、鎳、鉛、鋅依照檢測方法 AFS1293~9-1 進行分析；砷及汞依照檢測方法 AFS1291-1 進行分析。

(三)有害菌分析

本計畫主要檢測項目為腸桿菌群及沙門氏桿菌群。腸桿菌群檢測方法係利用腸桿菌群檢測培養基(Chromocult® Coliform Agar ES, Merck)測試，大腸桿菌(*E.coli*)在此培養基上會呈現藍紫色，若是其他腸桿菌則呈現紅色。沙門氏桿菌群係利用選擇性培養基(CHROMagar™ Salmonella)測試，沙門氏桿菌(*Salmonella*)在此培養基上會呈現紫紅色，腸桿菌群呈現藍色。將廢水以序列稀釋成適當比例，再取 100 μ L 均勻塗布在選擇性培養基上，觀察並計算菌落數量。

三、沼液沼渣田間施用量評估

(一)肥分效益評估

植物生長三要素為氮、磷、鉀，其中以氮肥的需求量最大，一般評估沼液使用量會以氮肥含量作為基準。本計畫將根據肥力分析結果，選擇 2 種作物為代表，依其生長期所需

之肥料量，估算本計畫產生之沼渣沼液的使用量。

(二)重金屬累積風險評估

為了促進動物生長，禽畜飼料中常添加銅及鋅，也導致廢棄物中含有高濃度的重金屬殘留量。本計畫將根據重金屬檢驗結果，並參考環保署土壤處理上限(400 kg N/ha/yr)，估算本計畫所產生之沼渣沼液的使用年限。

參、主要發現與結論

一、沼液沼渣去化方法評估

畜牧產業為臺灣農業中重要的一環，其 2018 年的生產總值占全農產品生產價值的 31.7%。但畜牧產業帶來的廢水、廢棄物，以及臭味等問題沉重，也成為大眾關注的焦點。我國畜牧業每年生產超過 900 萬噸禽畜糞規模，因環保意識高漲，處理壓力日增。在豬糞尿處理上，大致均採用畜試所三段式豬糞尿處理方式，亦即固液分離後，經分離後之固形物以堆肥化處理，液體部分則約停留 10 天時間，經厭氣發酵法處理後，再經活性污泥法處理後排放。據統計，目前飼養規模 200 頭以上規模者，近 95% 有此處理設施。目前國內外針對沼液沼渣去化方法有許多研究及實施案例，詳細說明如下：

(一)沼液之廢水處理

豬糞尿廢水為高濃度有機廢水，並含有大量糞便固體，過去國內畜牧業者為達到環保要求之放流水標準，自民國 79 年開始在農委會及環保署的輔導下興建三段式廢水處理設施，其糞尿廢水處理設施之設置率已達 95% 以上。

過去國內養豬業者採用大量沖洗水清洗之飼養方式，因此國內相關單位研發三段式豬糞尿廢水處理程序，包含固液分離、厭氧消化處理及好氣生物處理等三部分。在固液分離階段採用固液分離機，有逕流式、震盪式及水車式等，主要功能是将糞尿水中的豬糞固體取出，分離後的固體可以製成堆肥，僅液體部分進入厭氧槽，可以減輕厭氧槽的負擔。第二階段為厭氧消化處理，多數採用覆皮式的紅泥沼氣袋，以水封方式達到厭氧的目的。厭氧槽的水力停留時間(HRT)需在 10 天以上，底部需有斜度及汙泥抽取設計。第三階段為好氣處理階段，一般使用傳統式標準活性污泥法為主 HRT 設計為 1~2 天，使用曝氣管或曝氣盤充分供給氧氣，培養好氣性微生物來分解有機物。

目前環保單位對於畜牧廢水的規範，係以「水污染防治法」為主，依據「水污染防治法」第二條第一項規定，位於

自來水水質水量保護區，養豬 10 頭以上、養牛 40 頭，及非位於自來水水質水量保護區養豬 20 頭以上、養牛 50 頭之畜牧場，為「水污染防治法」所稱之事業。依據「水污染防治法」第七條第一、二項及「放流水標準」規定，畜牧場排放之廢水，應符合放流水標準，以養豬畜牧業來說，其放流水之 BOD 值須小於 80mg/L，COD 值須小於 600 mg/L，SS 需小於 150 mg/L。依據「水污染防治法」第十四、十六條及「水污染防治措施計畫及許可申請審查辦法」第五條規定，畜牧業每日排放廢水 50 立方公尺（公噸/日）以上者，應申請排放許可證；每日排放廢水 50 立方公尺（公噸/日）以下者，應申請簡易排放許可文件。

(二) 沼液沼渣資源化利用

1. 沼液沼渣資源化利用的契機

畜牧糞尿含有高有機及含氮物質，現行畜牧業多數採用三段式處理廢水，其目的在於將廢水處理至符合放流水的標準，但畜牧場常因好氧處理程序曝氣所需電費高，為節省成本情況下減少曝氣時間，導致廢水未妥善處理即排放污染河川，再者三段式處理法無法妥善處理氨氮及總磷，排入河川消耗水中溶氧，導致河川優養化。另一方面，畜牧業者對於

廢水處理消極應對，也使得河川污染問題日趨嚴重。

水污染防治法於 104 年 2 月 4 日修正公布，未符合放流水標準最高罰鍰由新臺幣 12 萬元提高至 60 萬，繞流排放由 60 萬元提高之 2,000 萬元。另外，自 106 年起開始徵收畜牧業水污染防治費，在各項廢水處理成本增加下，除迫使業者加強廢水處理設備維護之外，也逐漸將畜牧糞尿導向資源化利用的方向。

2. 沼液沼渣入田的優缺點

環保署於 2016 年起即開始推廣「沼液沼渣農地肥分使用」計畫，規定畜牧糞尿經過厭氧處理後生成之沼渣、沼液排入農田當作肥料，以避免對於環境之污染。

畜牧糞尿經過厭氧處理後生成之水溶性物質為沼液，約含有 6% 固形物，可直接噴灑施用於農作物，當有機肥使用。固體產物則為沼渣，可被應用為土壤改良劑，作為堆肥等產品使用。沼液及沼渣中含有豐富的養分，可增加栽作植物的產量，並提高其抗病蟲害能力。另外，依調查資料顯示，養豬一年所產生糞尿的氮肥的力價，相當於臺肥五號肥料一包，農民可使用其發酵產物沼液沼渣作為農地肥分，以減少化學肥料的使用量。

整體而言，使用沼液、沼渣作為農地肥分的好處包括：減少廢水處理量（省操作費，如減少 84% 之電費）；減少廢水排放量（省水污費）；減少化肥使用量（省肥料錢）。最大的好處是能改善河川水質，維護環境品質免於被污染。

一般而言，施用廢水之肥效可達化肥之八至九成以上。以水稻為例，施用等量豬糞尿之一期作水稻產量可達施用化肥之九成以上，二期作則約為八成以上。以等量氮肥之廢水取代基肥所施氮素 80kg/ha，之後追肥與穗肥仍分別施用含 80 kg/ha 氮素之台肥 5 號，產量為施用等量化肥者之 8-9 成。

廢水肥分不如化肥穩定。農友田間試驗中，必需於施肥後需進行元素分析，以化肥補足至等效肥份。未來實際施用時，對農民而言，在肥份管理上較為不便。

3. 沼液沼渣入田需評估之項目

(1) 公共衛生

施作沼液、沼渣於農地前後時，需分別對農地進行病原菌與抗生物質之把關。一般施用之豬糞尿雖可檢出大腸桿菌，只有少數豬糞尿可檢測出少量隱孢子蟲卵。至於沙門氏菌、蛔蟲卵及鞭蟲卵等人畜共通病原則應避免被檢出。

如農地在施用豬糞尿一個月後，未檢測到隱孢子蟲、蛔蟲及鞭蟲等寄生蟲或卵及大腸桿菌、沙門氏菌等人畜共通傳染性細菌病原，則可認為農田施用豬糞尿對土壤菌相無太大影響(陳，2016)。

即使是經過 10 天厭氧發酵的沼液沼渣，仍有可能被檢出病原菌。因沼肥之病原菌可能在土壤存活 2 週，建議農作採收前一個月不宜施用沼肥。以畜牧廢水栽培蔬菜者，不宜提供作為生菜食用。

(2) 環境監測

(a) 抗生素

由於抗生素已廣泛應用於畜牧養殖產業，因此糞肥的施用需長期監控抗生素抗性基因在環境的濃度逐漸升高的問題，否則其後果將會嚴重威脅現代醫療系統。有文獻指出相較於堆肥，經由中溫厭氧消化方式處理後的禽畜糞便，其所含的抗生素抗性基因濃度無法被有效削減。因此，在畜牧糞尿沼液沼渣作為農地肥分的使用時，應先審慎評估施用對土壤環境的抗性增加的問題。一般會進行沼液沼渣添加於土壤之短期(一~二個月)模擬試驗，藉由不同土壤深度的抗性

基因濃度分析，以了解源自渣沼液中的抗性基因，並觀察其於在土壤環境中隨著時間及日照後的遷移及變化。

(b) 土壤監控

在土壤物生化特性方面，需考量長期施用養豬廢水，是否會使土壤性質發生變化。依據 106 年 12 月 27 日所修正之水污染防治措施及檢測申報管理辦法中，第十章之一沼液沼渣農地肥分使用，第七十條之二第六款-施灌農地土壤品質背景值檢測報告，應包含土壤飽和萃取液導電度、銅、鋅及土壤質地等項目。土壤監測採樣頻率為每 1 年於施灌地之表土(0~15 公分)採樣檢測 1 次。土壤得採個別施灌區域內之 3-5 處土壤混合成一樣品，此代表此區域之土壤平均濃度值。當土壤銅、鋅達食用作物農地土壤污染監測標準的八成，即應立即停止施灌。再者，如沼渣中的重金屬含量相當高，如不宜施用於農地，應另尋其他處置方式。另一方面，應調整飼料的規範，調降飼料重金屬標準規範，從源頭端降低重金屬的含量。

(c) 地下水監控

依據上述管理辦法，第十章第七十條之二第五款-施灌農地區域地下水水質背景值檢測報告，應包含導電度、銨態氮（ NH_4^+-N ）或氨氮等項目。其地下水井得以施灌農地區域位址之民井或地下水水質監測井為之(行政院環境保護署，2015)。地下水監測採樣頻率應為每半年採樣檢測 1 次(即豐與枯水期各採樣 1 次)。在農地肥分使用期間，下游井地下水水質監測結果各項污染物指標有明顯上升趨勢，或是超過第二類地下水污染監測標準(氨氮 0.25 公噸/L) 即應立即停止施灌。

在避免肥分流失污染環境方面，為避免畜牧廢水因暴雨、淹水而流失，遇天候不佳，如中央氣象局發布大雨、豪雨特報時，應暫停施用。施灌於細質地土壤，建議每分地每次施灌量不宜超過 17 公噸；質地較粗之土壤則每分地每次施用畜牧廢水量不宜超過 7 公噸，以避免造成土壤及地下水污染。

(d) 環境異味

在避免臭味逸散方面，以施灌車裝填畜牧廢水，清洗貯水槽及貯水桶所產生之廢水，皆需併入牧場廢

水處理設施。施灌車載運之貯水槽為密閉式，需確保於運送過程中不滲漏，並減少異味逸散。厭氣發酵時間低於 10 天之沼肥，施用時其異味仍有可能超過環境標準，建議距住宅區 200 公尺以上。若採用隨灌溉水溝灌，應先施用灌溉水，再混入畜牧廢水，以減輕臭味逸散，並使畜牧廢水可平均施灌於農地中。若以噴灑、漫灌作為基肥，施用後應立即犁田，避免畜牧廢水殘存土壤表面，造成異味溢散。施灌時施灌地點之方圓 200 公尺內必需無住宅區。

4. 國內相關法規規範

依據「水污染防治法」第十三、十八條及「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第五十六、五十七、五十八條規定，養豬 2,000 頭、養牛 250 頭之畜牧場，應檢具「水污染防治措施計畫」。然而國內有許多小型畜牧場，因此環保署針對飼養豬隻 20 頭以上未滿 200 頭之畜牧業，則改提交「廢水管理計畫」，此為比「水污染防治措施計畫」更為簡單簡要的計畫文件，兩者的目的是讓養豬業自己說明畜牧糞尿如何處理或資源化利用，如果是要排放，就要符合放流水標準，如果是要採用資源化利用，就要符合規

定。

105 年 10 月 28 日修正發布「水污染防治措施計畫及許可申請審查管理辦法」，增訂及簡化畜牧業沼液、沼渣農地肥分使用之相關規範，鼓勵以槽車載運，並得以管線、溝渠等方式施灌至農地，並落實畜牧糞尿水的資源化再利用化的輔導(葉等，2016)。

環保署陸續推動畜牧糞尿沼液沼渣作為農地肥分使用，自 105 年起至 107 年 12 月 31 日止，全國共有 490 場畜牧場取得沼液沼渣作為農地肥分使用同意，平均每年的施灌量達 161 萬公噸，資源化利用比率為 5.58%。

環保署自 105 年起，補助地方政府委託專業顧問公司，專案輔導有意願申請之畜牧場撰寫計畫書、辦理相關水及土壤等檢測的委託。為促進畜牧資源循環經濟，更於 106 年 12 月 27 日修正發布水污染防治措施及檢測申報管理辦法，由主管機關核准或換發廢水管理計畫中，刪除畜牧糞尿施灌量許可欄位，改由主管機關以系統管理行之，簡化系統後，畜農業者經由農業主管機關核准即可施灌。

農委會自 100 年起依廢清法授權訂定之「農業事業廢棄物再利用管理辦法」，推動畜牧糞尿水施灌農作之個案再利

用申請。環保署亦於 104 年起修正水污法相關法規，增訂沼液沼渣農地肥分使用專章 10 條，讓畜牧糞尿還肥於田有法令遵行的依據。

5. 國內研究案例

大方種牛畜牧場，位於彰化縣福興鄉福寶村為研究案例之一，其農地面積為 1.27 公頃，施灌作物為盤固拉草，輸送方式為管線（3inPVC 管），施灌方式為漫灌，施灌量為 4,748 公噸/年。操作方式：採部分施灌的方式，需施灌時將開關閥打開，漫灌盤固拉草，全區約 50~100 公尺設置一個開關閥，採分區輪灌方式，以確保各區均能充分應用肥分，其餘畜牧糞尿經廢水處理設施處理後，符合放流水標準規定後排放。以該場施灌量及施灌面積換算沼液沼渣所取代的化肥，一年可節省約 20 萬元化學肥料費的支出。

環保署於 107 年選擇畜牧業較集中之屏東縣萬巒鄉及雲林縣麥寮鄉，作為畜牧糞尿資源化利用示範鄉，藉由親訪鄉內畜牧業、產銷合作社或相關單位機關共 85 場次，並針對鄉內關鍵人士舉行會談共 8 場次，促使業者重視及配合國家政策之推動，以加速提高示範鄉畜牧糞尿資源化

之比率。截至 107 年 12 月底，屏東縣萬巒鄉除原有肥分使用農地同意及放流水澆灌植物畜牧場數共 9 家外，再增加 11 家輔導肥分使用農地計畫及放流水澆灌植物申請案件。在雲林縣麥寮鄉方面，也增加 10 家已通過資源化輔導，至少有 12 家畜牧場通過申請，已見初步成效。於是環保署繼續於 108 年擴大推動示範鄉數量為 5 處，已深化畜牧業糞尿資源化利用觀念於民間(行政院環境保護署水保處，2019)。

6. 國內推動現況

(a) 環保署與縣市政府推動補助措施及媒合平台

在畜牧廢水處置方面，環保署與地方政府合作，並引進社會資源，並擴大政府服務量能及延伸服務據點。環保署除已完成建置網路農牧媒合平台，並提供 e 化平台，以便登錄沼液沼渣產量與施灌農地資料，以協助農牧媒合，擴充施灌農地。再者，為增加施灌靈活度，環保署補助地方政府購置沼液沼渣集運車輛、施灌機具及農地貯存槽，協助畜牧業順利運送沼液沼渣施灌，目前已核定補助高雄市、雲林縣、屏東縣、嘉義縣及花蓮縣等計 25 輛集運施灌車輛及 75 個農地

貯存桶。

因全國養豬頭數在 2,000 頭以下的畜牧場占 91.7%，為符合畜牧業循環經濟目標，一併解決小規模畜牧場之人力及廢水處理專業技術不足。環保署示範補助地方政府設置資源化設備，協助處理其他小場畜牧場之畜牧糞尿並將之資源利用。目前推動集中處理有花蓮縣 1 案、大場代處理小場有桃園市 1 案、屏東縣 2 案及雲林縣 5 案，補助金額新臺幣 1 億 3,365 萬元。共處理 30 場，共處理 7 萬 9,117 頭畜牧糞尿。

在地方政府方面，台中市政府環保局積極媒合畜牧業與農民合作，由環保局免費提供沼液沼渣時運服務，目前已成功媒合 29 家業者「還肥於田」創造循環農業。為加強推廣畜牧業沼液沼渣再利用，環保局日前分別在高登畜牧場及松河牧場舉辦沼液沼渣澆灌觀摩活動，邀請農業試驗所、市府農業局、市養豬協會、多家畜牧業者及農民進行交流，已獲得熱烈迴響。

為推廣沼液、沼渣施肥再利用，台中市府則免費提供沼液沼渣載運服務，並協助畜牧業及農民，申請

完成沼液、沼渣肥分使的載運及農地的施灌，預估一年度可增加 600 噸以上沼液澆灌量。

(b) 使用農地範圍及施用沼液沼渣量

台中市環保局表示，為推廣沼液、沼渣施肥再利用，市府自 2019 年 8 月開始免費提供沼液沼渣載運服務，協助已申請完成沼液、沼渣肥分使用計畫的畜牧業及農民，載運沼液及至農地施灌，預估今年度可增加 600 噸以上沼液澆灌量。

雲林縣府推行畜牧糞尿沼液沼渣作為農地肥分至今已逾 4 年，截至今年 9 月底雲林環保局協助 133 家畜牧場核准通過「沼渣沼液農地肥分使用計畫」，每年施灌量可達 37.1 萬噸，相當於減少 5.7 萬頭豬隻及 4.3 千頭牛隻廢水進入河川。

林內鄉三源畜牧場等 12 家畜牧場，也與鄰近農民合作施灌效益不錯，讓不少農民也加入施灌沼液沼渣行列，經農業處核准通過，農地施灌面積總計擴增 60.44 公頃，每年沼液沼渣施灌量則增加 1 萬 7322 公噸，等同減少 1753 包台肥 5 號使用量。

在全國方面，環保署自 105 年起推動畜牧糞尿沼液沼

渣作為農地肥分使用，截至 108 年 6 月 15 日止，全國已有 716 家畜牧場採取畜牧糞尿資源化利用，其中 558 場畜牧場取得沼液沼渣作為農地肥分使用同意。91 場取得農業事業廢棄物個案再利用許可及 67 場符合放流水標準回收澆灌植物等。施灌農地面積達 2,111 公頃，施灌水量每年達 397 萬公噸，每年施灌的氮量約 858 公噸，相當於台肥黑旺特 5 號肥料 13 萬 4,106 包。未來河川水質將恢復乾淨，空氣中沒有臭味，創造多贏局面(全國農牧媒合平台，2019)。

7. 國外規範

歐盟於 2006 年提出土壤保護策略，於污染與土地管理的部分，召集相關學者及政府組織，進行土壤保護策略之諮詢討論。在糞肥與流出物之土地施用方面，在集約飼養動物地區，建立合適畜牧動物飼養密度後，根據作物實際需求，以糞肥及流出物替代礦物肥料(蘇，2010)。

德國於 2000 年實施「再生能源優先法」，要求企業以保證收購價格購買來自可再生來源的電力。為增加農業污泥及農業廢棄物的再利用，尤其特別針對摻拌 30% 以上禽畜糞及農業污泥原料的生質沼氣設施，並提高額外津貼

至 3.36 元台幣/度。

畜牧廢棄物處理以早期管理與預防污染為主流，例如德國和英國皆有相關法令規定，德國畜牧廢棄物預防監測策略是依循其國環境影響評估法制定，畜牧業副產品之管制則配合農業及環保政策進行規範。

英國為因應歐盟所廢棄物架構指令，將農牧廢棄物納入管制廢棄物的規範，依歐盟規範及當地環境法規來施行，採行污染者付費及廢棄物減量為原則。

以畜牧廢棄物中糞肥之營養鹽回收再利用觀點，採行土壤澆灌之措施，因此歐盟各國依照 91/676/EEC 硝酸鹽指令，需劃設其境內之硝酸鹽脆弱區，規定每年每公頃可施用之總氮量不得超過 170 公斤，以減低硝酸鹽對水源造成的污染。

根據土地使用計畫措施規劃，發展生質沼氣產品，以改善糞肥等地的容量，使其易於儲存及搬運。同時注意糞肥中有機質比例的穩定性，並降低氮於空氣中逸散的影響。根據歐盟的統計資料顯示，歐盟 27 國的生物可分解廢棄物總計每年 1,578 百萬公噸，其中動物廢棄物約占 65%。以動物糞肥作為肥料使用依歐盟硝酸鹽指令。堆肥的現行

法定標準與要求，在重金屬污染方面主要考量砷、鎘、鉻、銅、汞、鎳、鋅、鉛等八項是否超標。

以英國為例，對於畜牧廢棄物之再利用，以其政府環境部門等所公告之如糞肥管理指引、農夫於硝酸鹽脆弱區指引、營養鹽之管理指導等文件，均有朝向畜牧廢棄物之資源循環再利用之規定。然藉由所頒布之廢棄物處理、再生能源及相關之資源回收法等指令，使歐盟在畜牧廢棄物資源化更邁向永續環境之總體目標。

德國與奧地利是世界上較早發展循環經濟的國家，以德國的農業循環經濟為例，政府鼓勵農民投資沼氣池，使用農場作物與糞肥廢棄物投入做沼氣發電，目前境內七千多座沼氣廠的發電量相當於三座核能電廠的總量(張聖函，2015)。歐洲沼氣協會(European Biogas Association, EBA)成立於2009年2月，總部位於比利時布魯塞爾，為非營利組織，且是歐洲可再生能源論壇(European Forum for Renewable Energy Sources, EUFORES)的成員。致力於促進歐洲厭氧消化和生質氣化(biomass gasification)的可持續生物氣(biogas)，與生物甲烷之生產與使用，對厭氧消化等技術研發與政策制定等具有舉足輕重之地位。

8. 國外推動案例

歐美國家如荷蘭、瑞典等國將畜牧糞尿厭氧發酵後施灌於農田作為肥料使用，已有數十年之經驗，並由養豬戶與農民簽訂施作合約。歐盟對於所有的畜牧廢棄物規定必須回歸農田再利用；英國直接將厭氧發酵後沼液沼渣認定為生物性肥料，可進行商業性買賣，成為具有商品價值的肥分。

以槽車載運豬糞尿再利用試驗計畫在荷蘭、瑞典和美國等歐美國家已行之多年了，將豬糞尿貯存於大貯存槽後，利用大型施肥機將豬糞尿噴撒或注入農田，作為肥料，供作物生長之需，並且限制施用量，以降低環境營養鹽之負荷。亦有許多研究探討農田氮素收支循環問題，包括豬糞尿施用於農田之氮揮散與水污染防治等問題(吳&謝，2019)。

(三)沼渣(污泥)之處理方式

沼渣(污泥)為過量及死亡的微生物及不可溶的固體，一般廢水處理廠會將污泥脫水成為污泥餅(Sludge cake)。根據內政部營建署資料顯示，臺灣 2013~2014 年每天約產出 145 噸，一年產生約 53,000 噸的污泥餅。當時污泥餅的清運費每公噸

約 3350 元。污泥餅的後續處理，土地掩埋處置約佔 64%；材料化再利用約 16%；其他 15%則以燃燒焚毀處理。然而近年來因環保法規日趨嚴格，污泥餅的清運費也逐年攀升，昂貴的清運費對於屠宰場、畜牧場或是污水廠都是成本上的一大問題。大量污泥累積在廢水處理槽內會因為水力停留時間之縮短，造成廢水設施無法達到預期之處理效率，嚴重時會使放流水無法符合環保標準。此外，亦有文獻指出污泥的掩埋及燃燒會造成土地及空氣的污染。因此，如果成功研發屠宰場、畜牧場及污水處理廠污泥資源化的處理技術，並提升污泥處理產物之附加價值，則在經濟誘因下，可將廢棄物資源回收利用。

豬糞尿之污泥屬有機污泥，含有高量的氮、磷、鉀三要素，污泥餅經乾燥後之 pH 約 6.42、EC 2.91 ms/cm、T-N 4.19%、 P_2O_5 9.61%、 K_2O 0.39%、CaO 10.28%、MgO 1.88%、鋅 0.4%、銅 760 ppm、有機質 65.9%，含量高的是鋅、銅含量。

處理上主要以資源化利用回歸土地當有機肥料為主，其他方面為輔之方式。以下就污泥再利用方式簡單介紹：

1. 堆肥

畜試所所產製之污泥堆肥含有高氮及磷、低鉀肥，如

選擇在水稻與紅豆的輪作下，連續進行 8 連作之污泥堆肥添加試驗，結果顯示在每作施用污泥堆肥 2 ton/ha 並配合部分化學肥料之處理，與化學肥料全量處理在作物產量上並無顯著差異。

2. 植物盆栽介質

由於豬場污泥堆肥含有高濃度的銅、鋅，當作有機肥施用時，容易引起農地金屬污染的疑慮。若能將其施用作觀葉植物盆栽介質的資材，則不失為良好的資源化方式。發現當介質添加 1/5 量的污泥堆肥，在長達七個月的生育期中，可免施化學肥料(林等，2003)。

3. 生物性污泥作為菇類培養介質

台大動科系研究團隊於 2018 年成功利用重力濃縮與重力除水等方式，使用現行普遍使用於樹木與花卉移植之不織布袋，進行畜牧場沼液沼渣重力濃縮除水試驗，將脫水後之沼渣與椰子纖維以不同比例混合，成為菇類培養介質(蘇，2020)，亦可應用於非食用類樹苗或花卉種植(蘇等，2018)。

4. 污泥碳化技術

所謂污泥碳化，就是通過特定的手段，使污泥中的水分釋放出來，同時又能最大限度地保留污泥中的碳值，使最終產物中的碳含量大幅提高的過程（Sludge Carbonization），污泥碳化主要分為下列3種(綠點資訊，2019)。

- (1) 高溫碳化：碳化時不加壓，溫度範圍為 649~982°C。先將污泥乾化至含水率約 30%，然後再進入碳化爐高溫碳化造粒。碳化顆粒可以作為低級燃料使用，其熱值約為 8,360~12,540 kJ/kg (日本或美國)。
- (2) 中溫碳化：碳化時不加壓，溫度範圍為 426~537°C。先將污泥乾化至含水率約 90%，然後進入碳化爐分解。工藝中產生油、反應水、沼氣和固體碳化物。開發該技術的代表為澳大利亞 ESI 公司。
- (3) 低溫碳化：碳化前無需乾化，碳化時加壓至 6~8 MPa，碳化溫度設定為 315°C。碳化后的污泥成液態，脫水后的含水率 50% 以下，經乾化造粒後可作為低級燃料使用，其熱值約為 15,048~20,482 kJ/kg (美國)。
- (4) 污泥水解熱乾化技術：污泥水熱乾化技術通過將污泥加熱，在一定溫度和壓力下使污泥中的粘性有機物水解，破壞污

泥的膠體結構，可以同時改善脫水性能和厭氧消化性能。經過水熱處理的污泥在不添加絮凝劑的情況下機械脫水的含水率大幅度降低。污泥的水解後其宏觀上，出現揮發性懸浮固體濃度減少和 COD、BOD 以及氨氮等濃度增加等現象。

污泥碳化後能有效降低污泥焚化或掩埋對環境的衝擊，並讓污泥相關產品有價化，達到循環經濟、資源再利用的成效。

在國內案例部分，宜蘭縣政府斥資 1 億 3184 萬元，在宜蘭地區水資源中心內，設置一套污泥碳化系統，將下水污泥碳化再利用，轉化成有價值的再生燃料，成為全國首個污泥碳化示範點。為期 1 年的驗證，已嘗試提高污泥碳化後的燃質，以一般煤炭為例，每公斤可以產生 6000 千卡的熱量，目前污泥碳化後的燃質，每公斤則有約 2000 的熱量。

5. 其他用途

蘇忠楨等研究團隊於 2016 年在 55°C 下進行污泥之酸催化轉酯化（8%之硫酸或鹽酸）程序，以甲醇與屠宰場污泥餅比 25:1 (v/w)，進行經乾燥與粉碎之轉脂化反應，

其產物脂肪酸甲酯 (FAME) 之最高累積產率 (w/w) 分別為 $2.51\pm 0.08\%$ 及 $2.27\pm 0.09\%$ (蘇忠楨, 104)。污泥轉酯化過程之副產物粗甘油, 可再與養牛廢水進行厭氧共消化以生產沼氣, 試驗結果顯示添加 4% 粗甘油之養牛廢水厭氧消化試驗組, 其最高沼氣產量為對照組之 226%。污泥資源化的處理技術能提升產物附加價值, 並使污泥得以妥善處理(Chou & Su, 2019)。

(四) 木質纖維解聚物於畜牧廢水共消化之應用

1. 利用木質纖維與畜牧廢水共消化之優點

廢水中有機質組成不同會影響沼氣產量, 如畜殖業廢水中厭氧發酵條件之碳氮比(C/N ratio)約 25, 屬於低碳氮比的廢水。目前畜殖業廢水中碳氮比不足時, 如添加含粗甘油等工業廢棄物, 可有效提升沼氣產量。至於農業廢棄物富含纖維素及有機質, 經處理後, 可做為生質沼氣生產之原料。但如直接添加作為沼氣生產原料, 則發酵時程長約 20~30 天, 因成本高, 不利於直接生產(工業發展技術研究院, 2016)。

台灣農業種植作物以水稻為最大宗, 根據農委會統計每年約有 189 萬噸的農業廢棄物(稻蒿、稻殼)產生, 佔所有農業廢棄物的 46%。這些廢棄物主要由纖維素、半纖維素及木

質素組成，目前處理方式以就地翻耕掩埋為主。養豬業廢水有較高的化學需氧量(COD)，適合微生物生長，具有開發沼氣的潛力。但養豬廢水有碳氮比較低、碳源不足的情形是需要克服；而植物纖維素碳氮比較高，可與畜殖廢水做混摻進而達到適合厭氧醱酵的碳氮比，可提升厭氧醱酵的效率。

2. 木質纖維解聚物能縮短醱酵時程以提升沼氣產量

隨著近年替代能源開發與研究，可將農業廢棄物與能源作物作為厭氧醱酵的料源，並藉由不同物理、化學方法，將纖維素、半纖維素分解成厭氧菌可利用的五、六碳醣等小分子醣類，可縮短醱酵時程及提升沼氣產量。

稻稈或蔗渣等農林業廢棄物雖然可應用於沼氣生產，但如單獨依賴微生物進行分解有機物質，效果有限且整體反應時間過長，導致沼氣生產效率不佳。核研所將生質物解聚前處理技術應用於沼氣生產，稻稈經解聚處理後之沼氣產量可提升 2 倍以上，且反應時間縮短 50%，每噸稻稈原料可發電 400 度電。若直接添加少量解聚後之稻稈於小型養豬場之厭氧池進行共醱酵，則沼氣產量也可提升約 2~3 倍，然而，其所產生副產物如沼液沼渣的物性及營養力價，應也有所改變，因此需進一步分析及評估。

二、沼液沼渣特性分析

核研所提供樣本共分為兩批次，第一批次為 6 月 12 日採樣之混合沼液沼渣，經過離心再分為離心沼液及離心沼渣共 3 瓶(圖一)，個別進行重要元素、重金屬分析。第二批次為 11 月 2 號採樣，除與第一批次相同之三樣本之外，增加汙泥樣本 1 個(圖一)。



圖一、核研所沼液沼渣樣品。上圖為第一批次樣本，由左至右分別為混合沼液沼渣、離心沼液及離心沼渣。下圖為第二批次，由左至右分別為混合沼液沼渣、離心沼液、離心沼渣及汙泥。

(一)肥力分析

參考農試所特刊第 206 號-「畜牧廢水農地施肥要領」，高床式畜舍因為用水量較少，因此其廢水的肥分較傳統畜舍高，而經過完整的厭氧處理之後，會消耗掉大部分養分，一般畜牧場厭氧廢水的全氮含量約 0.05~0.32%，平均 0.09%；全磷酞含量約 0.02~0.31%，平均為 0.07%；全鉀含量約 0.02~0.05%，平均為 0.03%。

核研所樣本分析結果如表一，在含氮量的部分，第一批次的混合沼液沼渣、離心沼液及離心沼渣分別為 0.06 ± 0.05 、 0.08 ± 0.02 及 1.55 ± 0.02 %，相較於一般畜牧場，第一批次的含氮量偏低。第二批次的混合沼液沼渣、離心沼液、離心沼渣及汙泥的部分，含氮量分別為 0.94 ± 0.04 、 0.74 ± 0.02 、 0.99 ± 0.05 及 2.50 ± 0.25 %，相較於一般畜牧場，第二批次的含氮量偏高。從兩批次樣本的含氮量來看，顯示核研所產出的沼液廢水含氮量較不穩定。

在全磷酞的部分，兩批次混合沼液沼渣數值相近，分別為 0.17 ± 0.02 % 及 0.20 ± 0.01 %，相較於畜牧厭氧廢水，核研所的全磷酞值偏高；在離心沼液部分，全磷酞數值也相近，分別為 0.13 ± 0.01 % 及 0.16 ± 0.06 %。在離心沼渣部分，兩批次分

別為 $1.57\pm 0.06\%$ 及 $5.77\pm 0.08\%$ ，有較大的落差。在厭氧汙泥的部分，全磷酐含量高達 $21.85\pm 0.17\%$ 。

在全氧化鉀的部分，第一批次混合沼液沼渣及離心沼液數值約 $0.15\sim 0.19\%$ ，高於第二批次的樣本(0.04%)。但在離心沼渣的部分，第二批次($3.05\pm 0.04\%$)反而高於第一批($1.38\pm 0.03\%$)。厭氧汙泥鉀含量為 $0.70\pm 0.01\%$ 。

在鈉含量的部分，第一批次三種樣品皆在 0.11% 左右，第二批次混合沼液沼渣及離心沼液在 0.10% ，但離心沼渣則為 3.05% 。根據農糧署公告之液態有機質肥料項目之標準，鈉不得超過 2.0% ，上述混合沼渣沼液或沼液皆符合標準。

在氯含量部分，第一批次在 $3.59\sim 5.48\text{ mg/kg}$ 之間，第二批次在 $1.18\sim 7.47\text{ mg/kg}$ 之間，根據農糧署公告之液態有機質肥料項目之標準，氯不得超過 3.0% ，上述項目皆符合標準。

在導電度部分，混合沼渣沼液及離心沼液皆偏高，因此在作為液肥使用時需要稀釋。綜合上述肥力分析結果，本次樣本在磷鉀比例上偏高，因此在後續使用上需依照作物及生長期的需求進行施用。

(二)重金屬含量分析

根據農糧署一般堆肥(品目編號 5-10)之規範，砷不得超

過 25.0 mg/kg，鎘不得超過 2.0 mg/kg，鉻不得超過 150mg/kg，銅不得超過 100 mg/kg，汞不得超過 1.0 mg/kg，鎳不得超過 25.0mg/kg，鉛不得超過 150 mg/kg，鋅不得超過 250 mg/kg。鉻不得超過 150 mg/kg。液態有機質肥料(品目編號 5-15)之規範，砷不得超過 10.0 mg/kg，鎘不得超過 0.6 mg/kg，鉻不得超過 30mg/kg，銅不得超過 20 mg/kg，汞不得超過 0.2 mg/kg，鎳不得超過 10.0 mg/kg，鉛不得超過 30 mg/kg，鋅不得超過 160 mg/kg。

本次樣本分析結果如表二，在混合沼液沼渣部分，兩批次都只有鋅可偵測到，分別為 113.8 ± 56.3 及 98.25 ± 13.44 mg/L。在離心沼液部分，僅第一批次檢測出 38.4 ± 17.2 mg/L 的鋅。若以有機質肥料之重金屬容許量標準(附件一)來看，無論是混合沼液沼渣或離心沼液，其鋅濃度皆在合格範圍內。除了鋅以外，其餘銅、鉛、鎳、鉻、鎘、砷及汞等，皆在偵測極限以下(< 0.1 mg/L)。

(三)有害菌分析

有害菌部分使用混合沼液沼渣進行分析，將樣本序列稀釋後分別塗佈在大腸桿菌及沙門氏桿菌檢測培養基，於 37°C 下培養 48h，再計

數呈色的菌落。本次樣品檢測結果如表三，兩批次的樣本在大腸桿菌檢測培養基上皆未發現藍色菌落(圖二 A)，表示該樣品未檢測出大腸桿菌(<100 CFU/mL)；在沙門氏桿菌檢測培養基上，可檢測到代表沙門氏桿菌的紫紅色菌落(圖二 B)，兩批次樣本分別為 3.9×10^3 及 2.3×10^4 CFU/mL。

表一、核研所沼液沼渣肥力分析

檢測項目	第一批次			第二批次			
	混合沼渣沼液	離心沼液	離心沼渣	混合沼渣沼液	離心沼液	離心沼渣	汙泥
全氮 %	0.06±0.05	0.08±0.02	1.55±0.02	0.94 ±0.04	0.74 ±0.02	0.99 ±0.05	2.50 ±0.25
全磷酞 %	0.17±0.02	0.13±0.01	1.57±0.06	0.20 ±0.01	0.16 ±0.06	5.77 ±0.08	21.85±0.17
全氧化鉀 %	0.19±0.01	0.15±0.02	1.38±0.03	0.04 ±0.00	0.04 ±0.00	3.05 ±0.04	0.70 ±0.01
鈉 %	0.11±0.006	0.11±0.002	0.11±0.003	0.10 ±0.002	0.10 ±0.00	0.35 ±0.008	0.05 ±0.001
氯 mg/kg	5.48±0.39	5.39±0.87	3.59±0.83	1.18 ±0.84	3.62 ±0.42	7.47 ±0.23	3.99 ±1.77
pH	7.4	7.82	7.52	7.31	7.50	7.42	7.83
EC mS/cm	8.04	8.31	1.44	4.87	4.98	1.10	1.57
有機質 %	2.95±0.05	1.09±0.01	64.72±0.38	1.25±0.03	0.76 ±0.01	67.75±0.02	43.06 ±0.75

a : pH、EC 樣品和水比(1 : 10, w/v)

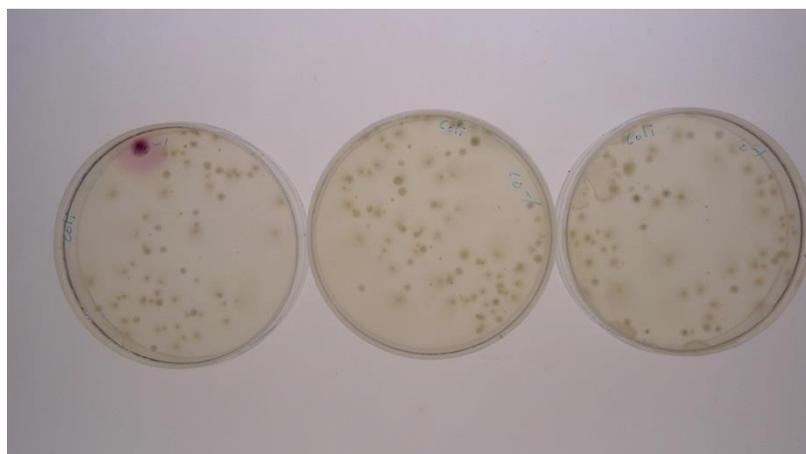
表二、重金屬含量分析

不提供本資訊

表三、沼液沼渣有害菌分析

檢測項目	菌數(CFU/mL)	
	第一批次	第二批次
大腸桿菌	ND	ND
沙門氏桿菌	3.9×10^3	2.3×10^4

A



B



圖二、腸桿菌群(A)及沙門氏桿菌(B)檢測培養。每個實驗為三重複。

三、沼液沼渣田間施用量評估

(一) 肥分效益評估

1. 施用方式及原則

沼液沼渣施用方式可用管灌、溝灌、漫灌、噴灑及注入等方式，其中注入土壤可以保留較多肥份，氣味影響也最小，其他方式則會損失 1~2 成的氮素，因此在估算沼渣沼液用量時，可評估增加 2 成的施灌量。漫灌、噴灑及注入等方式適合用在基肥時期使用；管灌及溝灌則適合在追肥時使用。若以噴灑方式施用，最好伴隨翻耕入田作業，可減少養分流失及臭味飄散。若欲將沼液作為葉面肥使用，需注意稀釋比例，避免造成葉面傷害。

2. 沼液沼渣與化學肥料比較

本計畫所使用的沼液沼渣與一般畜牧場的肥份組成不同，以第一批次樣本為例，其氮磷鉀比例分別為 0.06%、0.17% 及 0.19%，其含氮量偏低，磷鉀比例略高。核研所沼液沼渣與各類化學肥料的肥份比較如表四所示，與化學肥料相比，沼液肥份含量極低，因此養分如須達到作物生長的需求量，則需使用較大量的沼渣沼液。一般豬場沼液含氮量較高，而植物所需求的元素也以氮為主，因此在使用時多數以氮含量為基準來估算，舉例來說，1 包 40kg 的台肥特 43 號氮磷鉀含量皆為 6 kg，若要達到 1 包台肥特 43 號

的含氮量，則需使用 6,700 kg 的沼液，不足的磷鉀再由單質肥料補充。然而，由於第一批次沼液含磷鉀量較高，因此必須以磷或鉀的含量為基準來估算；而第二批次沼液沼渣的含氮磷量較高，因此須以氮或磷的含量為基準來估算。舉例來說，若欲達到與 1 包台肥特 43 號相等含量的鉀，則需使用第一批次沼液 3,150 kg；而二批次沼液含氮量較高，因此則以氮濃度為基準，使用 640kg 的沼液即可達到與 1 包台肥特 43 號相等含量的氮(表四)。

表四、核研所沼液沼渣與各類化學肥料的肥份比較

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	用量 (kg)	N (kg)	P ₂ O ₅ (kg)	K ₂ O (kg)
台肥特 1 號	25%	5%	10%	40	10	2	4
台肥特 4 號	11%	5.50%	22%	40	4	2	9
台肥特 5 號	16%	8%	12%	40	6	3	5
台肥寶效 39 號	12%	18%	12%	40	5	7	5
台肥特 43 號	15%	15%	15%	40	6	6	6
第一批次沼液沼渣	0.06%	0.17%	0.19%	3,150	1.9	5.4	6.0
第二批次沼液沼渣	0.94%	0.20%	0.04%	640	6.0	1.3	0.3
一般豬場沼液	0.09%	0.07%	0.03%	6,700	6.0	4.7	2.0

3. 作物施肥用量評估

本計畫選用甘藍、洋蔥、小黃瓜及香蕉作為例子，並參考作物施肥手冊(羅,2005)及台灣肥料有限公司作物施肥建議，由於本計畫所分析的兩批次樣本，肥份比例上有較大差異，因此後續評估以第一次的沼液沼渣樣本之肥份進行估算，評估其可取代肥料之用量，詳細評估如下：

(1) 甘藍：

甘藍三要素推薦量(公斤/公頃)為氮素：秋冬作 250-350，夏作：200-300、磷酐：70-90、氧化鉀：120-180。參考台肥建議施肥量如表五，基肥使用台肥特 43 號，每分地使用 40 公斤，追肥共 3 次，每次使用 40 公斤/分地的台肥特 1 號。台肥特 43 號為平均肥，NPK 含量皆為 15%，表示各含 6 公斤的氮磷鉀，因此若欲以核研所第一批次沼液沼渣取代，則以鉀含量為基準，每分地使用約 3.2 噸的沼液(表六)，可補足基肥時期所需的鉀肥，然而缺乏的氮肥及磷肥再以單質肥料補充。追肥時期建議使用台肥特 1 號，其 NPK 值為 25/5/10，若欲以核研所沼液沼渣取代，則以磷含量為基準，每分地使用約 1.2 噸的沼液，可補足追肥其所需的磷肥，而不足的氮肥及鉀肥則以單質肥料補充。

若以第二批次沼液進行估算，基肥部分以氮濃度為基準，每分地可使用 0.6 噸的沼液，追肥時期以磷為基準來估算，每分地可使用 1 噸的沼液。

	肥料	用量(公斤)	施肥時期及方法
基肥	台肥特 43 號	40	整地開溝時，施灑於畦面下 10~15 公分處後築畦
追肥 1	台肥特 1 號	40	定值後 10~15 天，條施後覆土
追肥 2	台肥特 1 號	40	1 追後 12~14 天，條施後覆土
追肥 3	台肥特 1 號	40	2 追後 12~14 天，條施後覆土

表六、甘藍栽培沼液建議用量

公斤/分地

		使用量 (噸/分地)	肥份含量(kg)			不足量(kg)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
第一批次沼液沼渣	基肥	3.2	1.9	5.4	6.0	4.1	0.6	0.0
	追肥 1	1.2	0.7	2.0	2.2	9.3	0.0	1.8
	追肥 2	1.2	0.7	2.0	2.2	9.3	0.0	1.8
	追肥 3	1.2	0.7	2.0	2.2	9.3	0.0	1.8
第二批次沼液沼渣	基肥	0.6	6.0	1.3	0.3	0.0	4.7	5.7
	追肥 1	1.0	9.4	2.0	0.4	0.6	0.0	3.6
	追肥 2	1.0	0.7	2.0	2.2	9.3	0.0	1.8
	追肥 3	1.0	0.7	2.0	2.2	9.3	0.0	1.8

(2) 洋蔥：

洋蔥三要素推薦量(公斤/公頃)為氮素：150-200、磷酐：150-200、氧化鉀：120-240。參考台肥建議施肥量如表七，基肥使用 80 公斤/分地的台肥特 43 號，第一次追肥使用 40 公斤/分地的台肥特 43 號，第二次追肥使用 40 公斤/分地的台肥特 1 號，第三次追肥使用 40 公斤/分地的台肥特 4 號。以核研所沼液沼渣計算之施灌量如表八，在基肥及第一次追肥分別使用 6.3 及 3.2 公噸/分地的沼液，可滿足所需的鉀肥，而不足的氮及磷則用單質肥料補充；第二、三次追肥則以磷肥需求為基準，分別使用 1.2 及 1.3 噸/分地的沼液，滿足磷肥的需求，不足的氮肥及鉀肥則以單質肥料補充。

若以第二批次沼液進行估算，基肥及追肥 1、3 的部分以

氮濃度為基準，每分地分別可使用 1.3、0.6 及 0.5 噸的沼液，

追肥 2 時期則以磷為基準來估算，每分地可使用 1 噸的沼液。

表七、洋蔥化學肥料建議用量

公斤／分地

肥料		用量 (公斤)	施肥時期及方法
基肥	台肥特 43 號	80	整地開溝時，施灑於畦面下 10~15 公分處後築畦
追肥 1	台肥特 43 號	40	定值後 15 天，畦面施灑或條施
追肥 2	台肥特 1 號	40	定值後 30 天，畦面施灑或條施
追肥 3	台肥特 4 號	40	定值後 45 天，畦面施灑或條施

表八、洋蔥栽培沼液建議用量

公斤／分地

	使用量 (噸/分地)	肥份含量(kg)			不足量(kg)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
第一批次沼液沼渣	基肥	6.3	3.8	10.7	12.0	8.2	1.3	0.0
	追肥 1	3.2	1.9	5.4	6.0	4.1	0.6	0.0
	追肥 2	1.2	0.7	2.0	0.0	9.3	0.0	4.0
	追肥 3	1.3	0.8	2.2	2.5	3.6	0.0	6.3
第二批次沼液沼渣	基肥	1.3	12.0	2.6	0.5	0.0	9.4	11.5
	追肥 1	0.6	6.0	1.3	0.3	0.0	4.7	5.7
	追肥 2	1.0	9.4	2.0	0.0	0.6	0.0	4.0
	追肥 3	0.5	4.4	0.9	0.2	0.0	1.3	8.6

(3) 小黃瓜：

小黃瓜三要素推薦量(公斤/公頃)為氮素:95-115。磷酐:90-105。

氧化鉀:130-170。參考台肥建議施肥量如表九，基肥使用

40 公斤/分地台肥特 43 號複合肥料，若以核研所沼液取代，

則可使用 3.2 噸/分地，滿足鉀肥的需求(表十)；在第一、二次

追肥分別建議使用 30 及 40 公斤/分地的台肥特 1 號複合肥料，

若以核研所沼液取代，則須分別使用 0.9 及 1.2 公噸/分地，可滿足磷肥的需求；在第三、四次追肥則建議使用台肥特 5 號複合肥料各 40 公斤/分地，換算可使用 1.9 公噸/分地的沼液取代磷肥的需求。上述肥份若有不足則以單質肥料補充。

若以第二批次沼液進行估算，基肥及追肥 3、4 的部分以氮濃度為基準，每分地分別可使用 0.6、0.7 及 0.7 噸的沼液，追肥 1~2 時期則以磷為基準來估算，每分地分別可使用 0.8 及 1.0 噸的沼液。

表九、小黃瓜化學肥料建議用量 公斤/分地

肥料	用量 (公斤)	施肥時期及方法
基肥 台肥特 43 號	40	整地開溝時，施灑於畦面下 10~15 公分處後築畦
追肥 1 台肥特 1 號	30	定值後成活後，離植株 5~6cm 環施
追肥 2 台肥特 1 號	40	1 追後約 10 天，施在畦間後中耕除草
追肥 3 台肥特 5 號	40	開花結果初期，施於畦間
追肥 4 台肥特 5 號	40	採收盛期，施於畦間

表十、小黃瓜栽培沼液建議用量 公斤/分地

	使用量 (噸/分地)	肥份含量(kg)			不足量(kg)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
第一批次沼液沼渣	基肥	3.2	1.9	5.4	6.0	4.1	0.6	0.0
	追肥 1	0.9	0.5	1.5	1.7	7.0	0.0	1.3
	追肥 2	1.2	0.7	2.0	2.2	9.3	0.0	1.8
	追肥 3	1.9	1.1	3.2	3.6	5.3	0.0	1.2
	追肥 4	1.9	1.1	3.2	3.6	5.3	0.0	1.2
第二批次沼液沼渣	基肥	0.6	6.0	1.3	0.3	0.0	4.7	5.7
	追肥 1	0.8	7.1	1.5	0.3	0.4	0.0	2.7
	追肥 2	1.0	9.4	2.0	0.4	0.6	0.0	3.6
	追肥 3	0.7	6.4	1.4	0.3	0.0	1.8	4.5
	追肥 4	0.7	6.4	1.4	0.3	0.0	1.8	4.5

(4) 香蕉：

4 號複合肥料(11-5.5-22)為目前最推薦的蕉園複合肥料，在一般蕉園建議用量為 1.5-2.0 公斤/株/年。若以種植 1,000 株的園區來估算，每年需要 2,000 公斤的 4 號複合肥料。若以第一批次核研所沼液取代，則以磷為基準估算，每年分別需要 64.7 及 6.5 噸的沼液作為基肥及追肥(表十一)，可滿足磷肥的需求，不足的氮肥及鉀肥可再以單質肥料補充。

若以第二批次沼液進行估算，基肥及追肥都以氮濃度為基準，每分地分別可使用 2.34 及 2.3 噸的沼液。

表十一、香蕉栽培沼液建議用量 公斤/1000 株

	使用量 (噸/分地)	肥份含量(kg)			不足量(kg)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
第一批次 基肥	64.7	38.8	110.0	122.9	181.2	0.0	317.1
沼液沼渣 追肥 1	6.5	3.9	11.0	12.3	18.1	0.0	31.7
第二批次 基肥	23.4	220.0	46.8	9.4	0.0	63.2	430.6
沼液沼渣 追肥 1	2.3	22.0	4.7	0.9	0.0	6.3	43.1

(二) 重金屬累積風險評估

核研所厭氧槽之種菌汙泥來自於畜牧場，然目前畜牧飼料中常添加銅及鋅，因此常造成廢水中的銅鋅濃度過高，且作物吸收銅鋅的能力有限，所以推測土壤中的銅鋅濃度會逐漸累積。根據食用作物土壤重金屬監測基準，銅及鋅的濃度別為 120 mg/kg 及

260 mg/kg，因此將依據此標準進行沼液使用年限的評估。

核研所提供兩批次之樣本，銅濃度部分皆未檢出(<0.1 mg/mL)，鋅濃度分別為 113.8 ± 56.3 及 98.25 ± 13.44 mg/L。沼液使用量通常是根據氮的含量進行估算，根據環保署建議，土壤處理上限為 400 kg N/ha/yr，核研所兩批次沼液沼渣樣本的氮含量分別為 0.06 及 0.94%，因此每年每公頃土地最多分別可澆灌 667 及 43 公噸的沼液，依據此澆灌量估算，施用的鋅含量分別為 75.90 及 60.53 kg/ha/yr，以稻穀銅、鋅平均含量為 2 與 34 mg/kg，每期作產量 6,000 kg/ha 計算作物吸收量(每年耕作 2 期)，銅鋅的移除量分別為 0.024 及 0.408 kg/ha/yr，因此鋅的累積量分別為 75.70 及 60.53 kg/ha/yr。表土重量以 2,000 ton/ha 計算，則土壤中鋅的濃度分別為 37.83 及 2.01 mg/kg，假設施用的土壤中原始銅及鋅濃度為 30 及 100 mg/kg，則該土地若分別連續澆灌 667 ton/ha 第一批次沼液 4.2 年或第二批次沼液 79.6 年，鋅濃度將會超過食用作物土壤的標準(表十二)，而銅的部分因原始濃度小於 0.1 mg/L，幾乎不會造成土壤的累積。

表十二、核研所沼液重金屬(鋅)使用年限評估

	施用量 kg/ha/yr	廢水鋅濃度 mg/L	使用鋅濃度 kg/ha/yr	移除量 kg/ha/yr	增加量 kg/ha/yr	使用年限 年
第一批次 沼液沼渣	667	113.8	75.90	0.204	75.7	4.2
第一批次 沼液沼渣	43	98.25	65.53	0.204	65.3	79.6

四、結論

沼液沼渣的性質可能隨著季節、氣候及進料條件改變而產生變化，由本計畫的分析來看，核研所提供的第一批次樣本之含氮量偏低，磷鉀的含量及比例相對較高，與一般畜牧場的沼液沼渣性質大不相同。可能原因在於核研所僅使用畜牧場的厭氧汙泥做為種菌，過程中若長時間未持續添加畜牧廢水作為料源，僅使用纖維解聚物為原料進行沼氣的生產，因此造成含氮量較低的情形。而第二次提供之樣本含氮量則較高，可能與厭氧槽添加額外的氮源(尿素)及採樣時間點有關。

根據沼液沼渣性質分析結果，並挑選數種作物為範例，進行沼液沼渣施用量的評估及建議；在重金屬部分，由於樣本中銅濃小於 0.1 mg/L，幾乎不會造成土壤的累積風險，但鋅濃度的部分則較高，因此須注意使用量及每年檢驗土壤的重金屬含量。

肆、參考文獻

- 行政院環境保護署水質保護網。畜牧糞尿資源化。
- 行政院環境保護署。2015。水污染防治措施及檢測申報管理辦法沼液沼渣農地肥分使用計畫範例說明。
- 行政院環境保護署水保處。畜牧糞尿資源化河川水質再淨化。
- 行政院環境保護署水保處。2019。畜牧糞尿資源化河川水質再淨化。
- 行政院環境保護署水保處。2019。畜牧糞尿資源化河川水質再淨化。
- 中華民國內政建署。2017。下水污泥朝「材料化、燃料化、肥料化」多元再利用邁進。
- 全國農牧媒合平台。2018。農牧業沼液沼渣資源化施灌車貯存桶來幫忙。
- 全國農牧媒合平台。2018。推動畜牧沼液沼渣作為農地肥分使用。
- 全國農牧媒合平台。2019。畜牧糞尿資源化 河川水質再淨化。
- 綠點資訊。2019。污泥處理處置市場不斷擴大 什麼才是主流技術？
- 宜蘭新聞網。2019。全國首個示範點！ 宜縣推下水污泥碳化變燃料。
- 行政院畜牧廢水農地施肥要領。2018。行政院農業委員會、農業試驗所。宏仁果菜合作社編印。107 年 3 月。農業試驗所特刊第 206 號。
- 原子能委員會核能研究所。2016。非糧料源解聚之多元利用技術開發與應用(1/3)。研究機構能源科技專案 105 年度執行報告。
- 工業發展技術研究院。2016。木質纖維素解聚技術開發。工研院於 105 年度執行研究機構能源科技專案，進行永續生質能源關鍵技術研發計畫。
- 林居慶、陳婉如。2020。商業有機肥料與沼渣沼液作為環境抗生素抗藥性發展的潛在來源探究。環保署土基會。
- 林晉卿、黃山內。2003。利用豬場污泥堆肥調配觀葉植物盆栽介質之研究。台南區農業改良場研究彙報 41：1~16。
- 林晉卿、郭猛德、黃山內。2004。施用養豬場污泥堆肥對水稻輪作田之影響評估。畜產研究 37 (1)：45~52。
- 蘇忠楨。2015。科技部補助專題研究計畫成果報告。MOST 103-2313-B-002-045-MY2。
- 蘇忠楨、洪于雅、王佳興。2018。畜牧場沼渣沼液重力除水與再利用於菇類或樹苗種植之技術系統研發。農委會 107 年度科技計畫研究報告[計畫編號 107 農科-2.4.2-牧-U1]。
- 蘇忠楨、洪于雅、王佳興。2018。畜牧場沼渣沼液重力除水與再利用於菇類或樹苗種植之技術系統研發。農委會 107 年度科技計畫研究報告[計畫編號 107 農科-2.4.2-牧-U1]。
- 蘇忠楨。2020。畜牧廢棄資源之循環利用技術與展望。台大校友雙月刊。No.128: p11~16。
- 蘇銘千。2010。國內外畜牧廢棄物資源化管理策略之研究。安全農業。

24: 21~27。

- 曾慶平。2017。纖維原料解聚物應用於生質沼氣技術開發與評估。國立交通大學。計畫編號：NL1060461。
- 陳琦玲、郭鴻裕、徐慶霖、范揚廣、林正斌。2008。豬糞堆肥之與未經處理豬糞尿施於農地再利用之比較。農業試驗所技術服務。756:20-24。
- 陳琦玲、郭鴻裕、周明顯、徐慶霖、張簡水紋、廖崇億、張筱瑜、蔡震達。2010。以槽車載運豬糞尿再利用試驗計畫（霧峰案）行政院農業委員會計畫研究報告。
- 陳琦玲、廖崇億、周明顯、徐慶霖、林正斌、蕭庭訓、郭鴻裕。2016。施用沼肥對公共衛生、農作與土壤環境之影響。
- 郭猛德、蕭庭訓、王政騰。2008。養豬三段式廢水與污泥處理技術。畜牧半月刊 81: 29~38。
- 張聖函。2015。歐盟循環經濟的未來發展規劃-朝向零廢棄物邁進的歐洲。農業生技產業季刊。糧食安全與稻米科技。42: 49-57。
- 楊宜潔、劉蘭萍、鄭淑芬、劉盈孜。2016。推動畜牧廢棄資源循環利用，邁向畜牧產業永續發展。綠基會通訊。專題報導 43:26-29。
- 吳筱婷、謝惠冰。2019。德國、荷蘭及比利時等國畜牧糞尿沼液沼渣資源化利用實務考察報告書。
- 葉昇炎、鄭閔謙、程梅萍。2016。畜牧糞尿水資源化再利用之發展沿革。循環經濟 NO.46: 29-32。
- 陳中興。2007。輔導畜牧業廢水處理之成果與展望。畜牧半月刊。78(10): 92~95。
- 羅秋雄。2005。作物施肥手冊。行政院農業委員會農糧署。
- Chou, Y.C. & Su, J.J. 2019. Biogas production by anaerobic co-digestion of dairy wastewater with the crude glycerol from slaughterhouse sludge cake transesterification. *Animals* 9: 618-635.

伍、附件

附件一、有機農業有機質肥料之重金屬容許量標準	
重金屬項目	有機質肥料 (mg/kg)
砷 (As)	50
鎘 (Cd)	5
鉻 (Cr)	150
銅 (Cu)	100
汞 (Hg)	2
鎳 (Ni)	25
鉛 (Pb)	150
鋅 (Zn)	800

附件二、土壤污染管制標準	
管制項目	管制標準值
砷 (As)	30毫克／公斤
鎘 (Cd)	10 毫克／公斤 (食用作物農地之管制標準值為2.5)
鉻 (Cr)	175 毫克／公斤
銅 (Cu)	220 毫克／公斤 (食用作物農地之管制標準值為 120)
汞 (Hg)	10 毫克／公斤 (食用作物農地之管制標準值為2)
鎳 (Ni)	130 毫克／公斤
鉛 (Pb)	1,000 毫克／公斤 (食用作物農地之管制標準值為300)
鋅 (Zn)	1,000 毫克／公斤 (食用作物農地之管制標準值為 260)